



**UNIVERSITY
OF OULU**

TIETO- JA SÄHKÖTEKNIIKAN TIEDEKUNTA

Alexi Nurmento

Automaattinen Kasvihuone

Kandidaatintyö
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma
Huhtikuu 2020

Nurmento A. (2020) Automaattinen Kasvihuone. Oulun yliopisto, tietotekniikan tutkinto-ohjelma. Kandidaatintyö, 36 s.

TIIVISTELMÄ

Tässä työssä rakennettiin automaattinen kasvihuone. Projektin tarkoituksena oli helpottaa kasvien kotikasvatusta teknologian avulla. Teoriaosuudessa perehdytään rakennettavien osajärjestelmien toiminta- ja suunnitteluperiaatteisiin ja toteutuksessa realisoidaan teoria todelliseksi kasvihuoneeksi.

Tämän projektin kasvihuoneessa keskityttiin maaperän kasteluun sekä kasvihuoneen ilmanvaihtoon ja valaistukseen. Kastelujärjestelmä koostui vesipumpusta ja kosteusanturista. Kastelujärjestelmän tarkoituksena oli pitää maaperän kosteus halutulla tasolla. Ilmanvaihtojärjestelmä koostui lämpötila-anturista ja tietokonetuulettimista, joiden avulla kasvihuoneen lämpötila oli tarkoitus pitää halutulla tasolla. Lopuksi rakennettiin vielä asianmukaisesti jäähdytetty LED-kasvatusvalo. Kasvihuoneen järjestelmiä ohjasi Arduino-mikrokontrolleri.

Testeissä ilmanvaihtojärjestelmä todettiin toimivaksi. Lämpötila pystyttiin pitämään tarkasti halutulla tasolla. Kastelujärjestelmän todettiin vaativan vielä jatkokehitystä ja lisätestausta luotettavuuden takaamiseksi. Kasvatusvalojen optimaalisuutta ei pystytty arvioimaan. Vaadittavia mittalaitteita ei ollut saatavilla COVID-19 pandemian vuoksi. Teoriapohjalta tehtyjen laskelmien ja kasvin yleisilmeen perusteella kasvatusvalon suorituskyky arvioitiin kuitenkin riittäväksi.

Avainsanat: Arduino, kasvihuone, kosteusanturi, jäähdytyslevy, LED

ABSTRACT

In this thesis an automated greenhouse was built. The purpose of this project was to make growing plants easier with the help of technology. The theory section focuses on the operating and design principles of the builded subsystems. In the implementation part the theory is converted to an actual automated greenhouse.

The focus on this project was on the soil irrigation and on the temperature and lighting of the greenhouse. Main components of the soil irrigation system were a water pump and a soil moisture sensor. The goal of the irrigation system was to maintain the soil moisture at a desired level. Main components of the air circulation system were a temperature sensor and computer fans. The goal of the air circulation system was to keep the temperature of the greenhouse at a desired level. Finally, a sufficiently cooled LED grow light was also built to ensure optimal lighting conditions for plants. The system was controlled with an Arduino microcontroller.

In the tests the air circulation system was found to be functional. The system was able to keep the temperature accurately at the desired level. The irrigation system was found to need some further development and testing to ensure reliability. Accurate evaluation of the characteristics of the LED grow light turned out to be impossible. Due to the COVID-19 pandemia, appropriate testing equipment was out of reach. Though the theory-based calculations and the general appearance of the grown plant was enough to assure that the grow light performed atleast at a satisfactory level.

Key words: Arduino, greenhouse, moisture sensor, heat sink, LED

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	5
1.1.	Taustaa	5
1.2.	Laajuus	5
1.3.	Metodi	6
2.	TEORIA	7
2.1.	Automaattiset kasvihuoneet	7
2.2.	Kosteusmittaus	7
2.3.	Lämpötila	10
2.4.	Valaistus	11
2.4.1.	Valot	11
2.4.2.	Jäähdytys	12
3.	TOTEUTUS	16
3.1.	Kasvihuone	16
3.2.	Arduino ja ohjelmakoodi	17
3.3.	Kastelujärjestelmä	17
3.4.	Ilmanvaihto	19
3.5.	Valaistus	21
4.	TESTAUS	24
4.1.	Kastelujärjestelmä	24
4.1.1.	Vesipumpun kalibrointi ja luotettavuus	24
4.1.2.	Kosteusanturin kalibrointi ja luotettavuus	24
4.1.3.	Maaperän kosteus pitkällä aikavälillä	25
4.2.	Ilmanvaihto ja lämpötila	26
4.3.	Valaistus	29
4.3.1.	Valon laatu ja intensiteetti	29
4.3.2.	Jäähdytys	30
5.	TULOKSET	31
5.1.	Kastelujärjestelmä	31
5.2.	Ilmanvaihto	31
5.3.	Valaistus	31
6.	YHTEENVETO	33
7.	LÄHTEET	34

1. JOHDANTO

1.1. Taustaa

Kasvisten kulutus on merkittävää nykypäivän yhteiskunnassa terveysbuumin vallitessa. Haluamme, että tuoreita hedelmiä ja kasviksia on saatavilla vuoden ympäri. Suomen kylmä ja pimeä talvi aiheuttaa kuitenkin haasteita satojen ympärivuotiselle kasvatukselle ja suuri osa hedelmistä ja kasviksista kuljetetaan Etelä-Euroopan lämpimistä maista [1]. Pitkä matka viljelypaikasta kaupan hyllylle johtaa väistämättä siihen, että kasvikset ja hedelmät joudutaan poimimaan ennen optimaalista kypsyyttä. Ennenaikainen poimiminen voi johtaa ravintoaineiden määrän ja maun heikentymiseen [2]. Myös kuljetuksesta johtuva ympäristörasitus on oma ongelmansa.

Luomuruoan tuotanto on kasvanut 2010-luvulla voimakkaasti [3]. Luomu- ja lähiruokatrendi näkyy vahvasti lähiruokatuotteiden tarjonnan lisääntymisenä kaupan hyllyillä ja ravintoloiden ruokalistoilla. Vuoden 2013 hallitusohjelmassakin oli Suomen maatalouspolitiikan strategisiin tavoitteisiin kirjattuna luomu- ja lähiruoan osuuden kasvattaminen [4]. Vaikka myös kotimaisia, kotikasvatukseen soveltuvia yrttejä ja muita kasviksia on kaupasta saatavilla, on näissäkin tuoreuden näkökulmasta ongelmana ennenaikainen poimiminen ja kaupan hyllyillä seisominen.

Aidosti tuoreiden yrttien ja kasvisten kasvattaminen kotona on kuitenkin vaativaa ja aikaa vievää työtä. Monilla ihmisillä, allekirjoittanut mukaan lukien, ei ole kiinnostusta kasvien manuaalista kasvatusprosessia kohtaan. Lopputuote, aidosti tuore yrtti tai muu syötävä kasvi, kuitenkin kiinnostaa.

1.2. Laajuus

Tämän työn tarkoituksena on helpottaa yrttien ja muiden syötävien kasvien kasvatusta ympäristössä, jossa se olisi haastavaa ja työlästä. Teknologian avulla kasvien kastelu voidaan täysin automatisoida. Myös kasvatuslämpötila sekä valon laatu ja määrä voidaan optimoida.

Viitekasviksi on valittu basilika. Basilika valittiin, koska se on hyvin soveltuva pienehköön kasvihuoneeseen koonsa puolesta. Se on myös lämpötilavaatimuksiltaan sopiva kasvi kotikasvatukseen. Viitekasvin valinta on välttämätöntä, jotta voidaan rakentaa sopiva ympäristö joidenkin tiettyjen kriteerien ympärille.

Tässä projektissa kasvuympäristön suhteen keskitytään maaperän kosteuteen, kasvihuoneen lämpötilaan sekä valon laatuun ja määrään. Myös rakennetun LED-valaisimen toimintaa arvioidaan riittävän jäähdytyksen näkökulmasta. On huomioitava, että edellä mainittujen lisäksi muitakin muuttujia suotuisalle kasvuympäristölle on tietysti olemassa. Esimerkiksi maaperän ravinnetasot, ilman hiilidioksidin määrä ja niin edelleen. Kasvatettavan basilikan terveyttä arvioidaan vain silmämääräisesti.

Testaus ja tulokset -kappaleessa suoritettavat testaukset ovat suhteellisen lyhytaikaisia ja se on huomioitava niiden luotettavuutta arvioitaessa. Tulokset saattaisivat muuttua kattavammissa, pidemmän aikavälin testauksissa.

1.3. Metodi

Kasvien kasvatuksen helpottamiseksi tässä projektissa suunniteltiin automaattinen kasvihuone. Kasvihuoneeseen implementoitiin Arduino-mikrokontrollerilla ohjattavia antureita ja aktuaattoreita, joiden avulla voidaan tuottaa basilikalle suotuinen elinympäristö. Lisäksi rakennettiin valaisin sopivan valonmäärän ja -laadun tuottamiseksi.

Koko projektin voidaan katsoa koostuvan muutamasta eri osakokonaisuudesta. Ensiksi projektissa rakennettiin itse kasvihuone ja valittiin systeemiä ohjaavaksi mikrokontrolleriksi Arduino. Sopivan maaperän kosteuden takaamiseksi suunniteltiin vesipumpusta ja kosteusanturista koostuva kastelujärjestelmä. Lämmönhallinta järjestelmä koostuu tuulettimista ja lämpötila-anturista. Kasvihuoneen lämpötila pyritään pitämään basilikalle optimaalisessa 25 °C [5]. Viimeisenä suunniteltiin kasvatusvalo, joka on valaistus- sekä jäähdytysominaisuuksiltaan teoriaan perustuva.

2. TEORIA

2.1. Automaattiset kasvihuoneet

Automaattinen kasvihuone on kohtuullisen yleinen Arduino-projekti. Aikaisemmin tehtyjen kasvihuoneprojektien monimutkaisuus ja tärkeimpien toimintojen toteutustapa vaihtelee. Kasvihuoneen tärkeimpinä toimintoina voidaan kasvien näkökulmasta ajatella olevan kastelun, lämpötilan ja valon säätelyn.

Tässä projektissa kastelu toteutetaan perinteisellä tavalla, eli arvioidaan maaperän kosteutta ja kastellaan maaperää tarvittaessa vesipumpun avulla. Esimerkkinä ei-perinteisestä kastelutavasta voisi olla vesiviljely, jossa kasvit kasvatetaan vedessä, ilman multaa, tarkkaillen veden ravine ja pH-tasoa.

Lämpötilaa tarkkaillaan lämpötilasensorin avulla ja kasvihuoneen sisäilman lämpötilaa yritetään viilentää puhaltamalla viileämpää ilmaa kasvihuoneen sisälle kasvihuoneen ulkopuolelta tuulettimien avulla.

Kasvien tarvitsemasta valosta huolehditaan suunnittelemalla ja rakentamalla LED - kasvatusvalo.

2.2. Kosteusmittaus

Yleisimmät anturityypit maaperän kosteusmittaukseen ovat resistiiviset ja kapasitiiviset kosteusanturit. Resisttiivisen anturin toiminta perustuu ominaisvastuksen mittaamiseen kahden maaperään asetetun elektrodin välillä [6]. Anturin ilmoittama mittalukema on elektrodien välinen jännite. Elektrodien väliseen jännitteeseen vaikuttaa maaperän läpi johdetun virran ja maaperän resistanssin suuruudet. Maaperän resistanssi R voidaan laskea Yhtälöllä (2.1):

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.1)$$

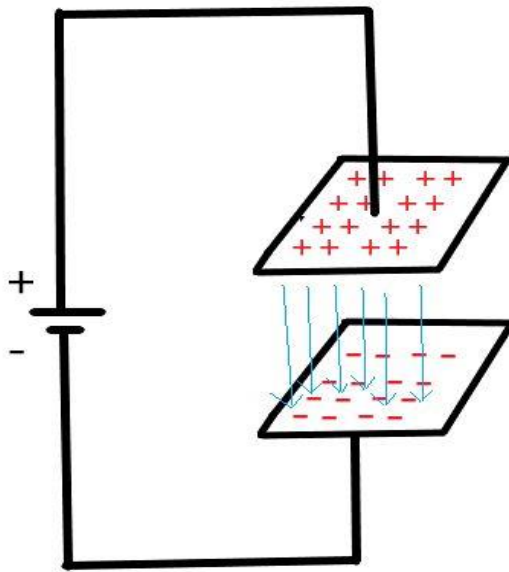
Missä ρ on materiaalin ominaisvastus, L on materiaalin pituus ja A materiaalin poikkileikkauksen pinta-ala [7 s.988]. Ohmin lain mukaan jännite U on

$$U = RI \quad (2.2)$$

Missä R on maaperän resistanssi ja I on maaperän läpi kulkeva virta. Jännitteen mittayksikkö on voltti (V) ja virran ampeeri (A) [7 s.989]. Yhtälöstä (2.1) voidaan todeta resistanssin kasvavan kun maaperän ominaisvastus kasvaa ja päinvastoin. [8] mukaan kuivan (vesipitoisuus 0 %) maaperän ominaisvastus on suurempi kuin $10^9 \Omega\text{cm}$ (ohmisenttimetriä) kun taas 5 %:n vesipitoisuuden omaavan maaperän ominaisvastus on $165,000 \Omega\text{cm}$. Kun sijoitetaan Yhtälö (2.1) Yhtälöön (2.2) voidaan todeta jännitteen kasvavan, kun maaperän resistanssi kasvaa. Jotta sähköä voidaan johtaa maaperän läpi elektrodien välillä, on niiden oltava suorassa kosketuksessa maaperään. Tämän suoran kosketuksen ja sähkövirran sivuvaikutuksena on anturin elektrodeihin muodostuva korroosio ja pitkällä aikavälillä korroosiosta johtuva anturin lukeman epätarkkuus [6].

Kapasitiivisen anturin etuna, resistiiviseen anturiin verrattuna on se, että suoraa kontaktia maaperään ei tarvita. Kapasitiivinen anturi voidaan sinetöidä eristävällä materiaalilla ja näin ollen suoraa kosketusta maaperään ei ole ja siten se kestää korroosiota paremmin [6].

Kapasitanssi kuvaa systeemiin varasoituneen sähkövarauksen suhteessa sen kahden osan väliseen jännite-eroon [7 s.956]. Vaikka kapasitanssi voidaan määritellä mille tahansa systeemille, jonka osat on sähköisesti varattavissa, käytännössä tarkasteltava systeemi on yleensä aina kondensaattori. Kuvassa 2.1. nähtävän levykondensaattorin levyjen välille muodostuu sähkökenttä, kun levyt täyttyvät vastakkaisista varauksista. Kondensaattorin levyjen välillä on ohut eristemateriaali [7 s.955].



Kuva 2.1. Levykondensaattori

Levykondensaattorin kapasitanssi C voidaan laskea Yhtälöstä

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \quad (2.3)$$

Missä ε on väliaineen suhteellinen permittiivisyys suhteessa tyhjiön permittiivisyyteen, A on levyjen pinta-ala ja d on levyjen välinen etäisyys. Maaperän suhteellinen permittiivisyys kasvaa sen vesipitoisuuden kasvaessa [7 s. 966]. Jos oletetaan, että Kuvan 2.1. levyjen geometria pysyy muuttumattomana ja levyjen väliaineena olisi eristettä ja kosteaa maaperää, kondensaattorin kapasitanssi kasvaa verrattuna kuivaan maaperään. Kuvassa 2.2. nähdään tässä projektissa käytetty kapasitiivinen kosteusanturi. Sen piirikaavio nähdään Kuvassa 2.3.[9].

The circuit diagram shows a voltage divider network. A 1.5k resistor (R1) is connected to VCC, followed by a 2.4k resistor (R2) connected to GND. A 470pF capacitor (C1) is connected in parallel with R2 to GND. The output of the divider is connected to the VIN pin of a NE555 timer configured as a voltage follower. The NE555 timer's other pins (DISCH, RESET, TRIG, THRES, OUT, CONT) are connected to GND. A 100nF capacitor (C2) is connected to the input of the timer. The output of the timer is connected to a 10k resistor (R3) in series with a 10nF capacitor (C3) to GND. The output of the timer is also connected to the input of an LMV359ID op-amp configured as a buffer. The op-amp's non-inverting input is connected to the output of the timer, and its output is connected to a 1k resistor (R7) to GND. The op-amp's output is also connected to a 100nF capacitor (C4) to GND. The output of the op-amp is connected to the SIG pin of a Grove Pi module. The Grove Pi module's VCC and GND pins are connected to the VCC and GND of the circuit, respectively. A 4.7uF capacitor (C6) is connected to the VCC pin of the Grove Pi module.

Projektrissa käytetyn kapasitiivisen kosteusan turin levyjen (3) ja (4) välille muodostuu sähkökenttä, kuten yksikertaisen levykondensaattorinkin tapauksessa. Tässä tapauksessa sähkökentän muoto on kuitenkin monimutkainen [10]. Anturin geometria ei kuitenkaan muutu, joten sähkökentän tarkka muoto ei ole tässä yhteydessä oleellista. Kondensaattori C_4 (eli kosteusan turin levyt (3) ja (4)) ja vastus R_3 (2) muodostavat sinisellä rajatun RC-piirin (ks. Kuvat 2.2. ja 2.3.). Kondensaattorin impedanssi Z_c on

$$Z_c = \frac{1}{i\omega C} \quad (2.4)$$

Missä ω on kulmataajuus yksikössä radiaania per sekunti, C on kondensaattorin kapasitanssi ja i on imaginääriyksikkö, joka merkitsee vaihesiirtoa kondensaattorin läpi kulkevan virran ja sen levyjen välisen jännitteen välillä [sensor tech p.8]. Impedanssin yksikkö on Ω , kuten resistanssinkin [7 s.1167]. Se kuvaa siis virran vastustusta vaihtovirtapiirissä. Koska kondensaattorin levyjen välillä ei ole yhteyttä, ei tasavirta kulje levyjen läpi. Vaihtovirran tapauksessa kuitenkin jännitteenmuutos aiheuttaa värähtelyä kondensaattorilevyjen varauksiin ja siten piiri käyttäytyy kuin virta kulkisi levyjen välillä [11 s.8]. Anturi on varustettu NE555 -oskillaattorilla [9]. Oskillaattori toimii siis vaihtovirtalähteenä. Kun sekä vastus että kondensaattori ajatellaan impedansseina Z_R ja Z_C , Kuvan 2.3. RC-piiri voidaan ajatella jännitejakajana. Solmun V jännite V_o voidaan laskea Yhtälöstä

$$V_o = \frac{Z_C}{Z_R + Z_C} V_{in} \quad (2.5)$$

Missä Z_c on kondensaattori C4:n impedanssi, Z_R on vastuksen R3 impedanssi ja V_{in} on oskillaattorilta tuleva jännitesignaali [11 s.11]. Sijoittamalla impedanssit yhtälöön (2.5) ja sieventämällä saadaan solmun V jännitteeksi V_o

$$V_o = \left(\frac{1}{i\omega R_3 C + 1} \right) V_{in} \quad (2.6)$$

Koska oskillaattorin kulmataajuus ω ja vastuksen resistanssi R_3 ovat vakioita, riippuu solmun V jännite V_o vain kondensaattori C4:n kapasitanssista C [11 s.12]. Kuten jo aikaisemmin todettiin, maaperän suhteellinen permittiivisyys kasvaa sen kosteuden kasvaessa ja tällöin myös kapasitanssi C kasvaa. Solmun jännite siis laskee, kun kosteus kasvaa. Anturin lopullinen tasavirtainen lähtösignaali muodostuu jännitejakajan oikealle puolelle jäävästä piiristä, joka koostuu diodista, yksikkövahvistimesta ja alipäästösuodattimesta (ks. Kuva 2.3.).

2.3. Lämpötila

Aineen lämpötilaa voidaan mitata joko kontaktilla tai ilman kontaktia. Kontaktimittauksessa aineeseen vaaditaan suora kosketus ja se soveltuu kiinteän aineen, nesteen ja kaasujen lämpötilojen mittaamiseen. Ilman kontaktia tapahtuva mittaus perustuu aineesta lähtevän lämpösäteilyn eli infrapunavalon mittaamiseen. Ilman kontaktia tapahtuva mittaus soveltuu kiinteän aineen ja nesteen lämpötilojen mittaamiseen [11 s.531].

Tässä projektissa mitataan kasvihuoneen sisäilman lämpötilaa eli kaasun lämpötilaa. Mittaus tapahtuu siis suoralla kontaktilla. Projektissa käytetty DHT22-anturi on yhdistetty lämpötila- ja kosteusanturi [12]. DHT22-anturi käyttää lämpötilan mittaamiseen termistoria eli vastusta, jonka resistanssi riippuu sen lämpötilasta [11, 12 s.534].

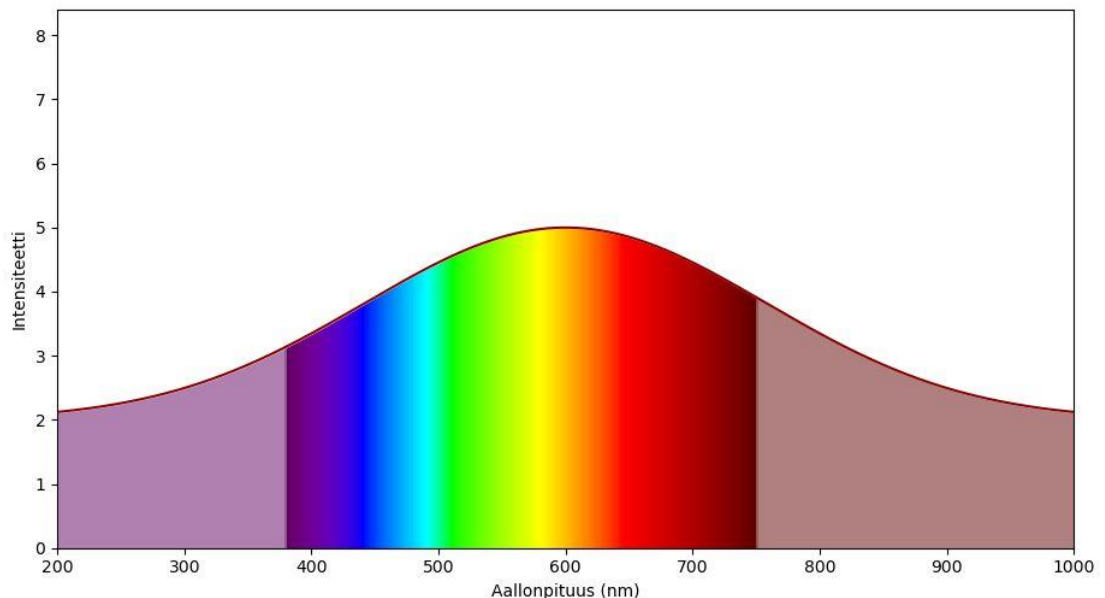
2.4. Valaistus

2.4.1. Valot

Kasvihuoneen kasvatusvaloina käytetään korkeateho-LED-valoja. LED eli hohtodiodi tai ledi on puolijohdemateriaaleista valmistettu komponentti. Ledeihin päädyttiin, esimerkiksi suurpainenatriumlamppujen sijasta, niiden helpomman muokattavuuden ja paremman energiatehokkuuden ansiosta [13]. Puolijohdemateriaalien valmistus perustuu esimerkiksi piin (Si) saostamiseen n- tai p-tyypin puolijohteeksi. Piitä voidaan saostaa n-tyypin puolijohteeksi lisäämällä siihen esimerkiksi arseenitrioksidia (As_2O_3). N-tyyppisesti saostetussa puolijohteessa on enemmistövarauksenkuljettajina elektroneja. P-tyyppinen saostus tapahtuu lisäämällä piihin esimerkiksi boronia (B). P-tyypin puolijohteessa enemmistövarauksenkuljettajina on aukkoja (positiivisia varauksia) [14 s.203]. Puolijohteen valosäteily ominaisuus perustuu edellämainittujen vapaiden elektronien ja aukkojen säteilevään rekombinaatioon [15 s.26].

Ledien lähettämä valosäteily on lähes monokromaattista eli yksiväristä [15 s.231]. Ledien säteilemän valon väri riippuu edellämainittuun rekombinaatioon vaadittavasta energiasta [15 s.34]. Erilaisilla tekniikoilla voidaan kuitenkin vaikuttaa ledistä lopulta ulos säteilevän valon värisävyyn. Esimerkiksi valkoinen ledi saadaan aikaan upottamalla sininen ledi fosforia sisältävään epoksiin [15 s.250].

Ihmissilmälle näkyvän valon (sähkömagneettisen säteilyn) aallonpituusspektri on noin 400-740 nm (nanometriä) [16]. Näkyvän valon spektri on jaettu erivärisiin kaistoihin Kuvan 2.4 mukaisesti.



Kuva 2.4. Näkyvän valon aallonpituusspektri.

Kuvassa vaaka-akselilla on valon aallonpituus ja pystyakselilla tietyn aallonpituuden intensiteetti. Intensiteettitasot vaihtelevat valonlähteestä riippuen. Kuvan intensiteettitasot on valittu vain esimerkkinä, eivätkä ne kuvasta mitään todellista valonlähdettä.

Kasvien näkökulmasta vain aallonpituudet, jotka kasvi pystyy absorboimaan voivat aiheuttaa niissä kemiallisia muutoksia ja olla siten hyödyllisiä kasville [17 s.183]. Hyödylliset aallonpituudet kasveille rajoittuvat noin 400-700 nm aallonpituuksille, eli lähes näkyvän valon aallonpituusspektrille [18 s.399]. Projektin viitekasvi basilikalle erityisesti sinisen (380-495 nm) ja punaisen (650-665 nm) valon kombinaatiosta on osoitettu olevan hyötyä [19].

2.4.2. Jäähdytys

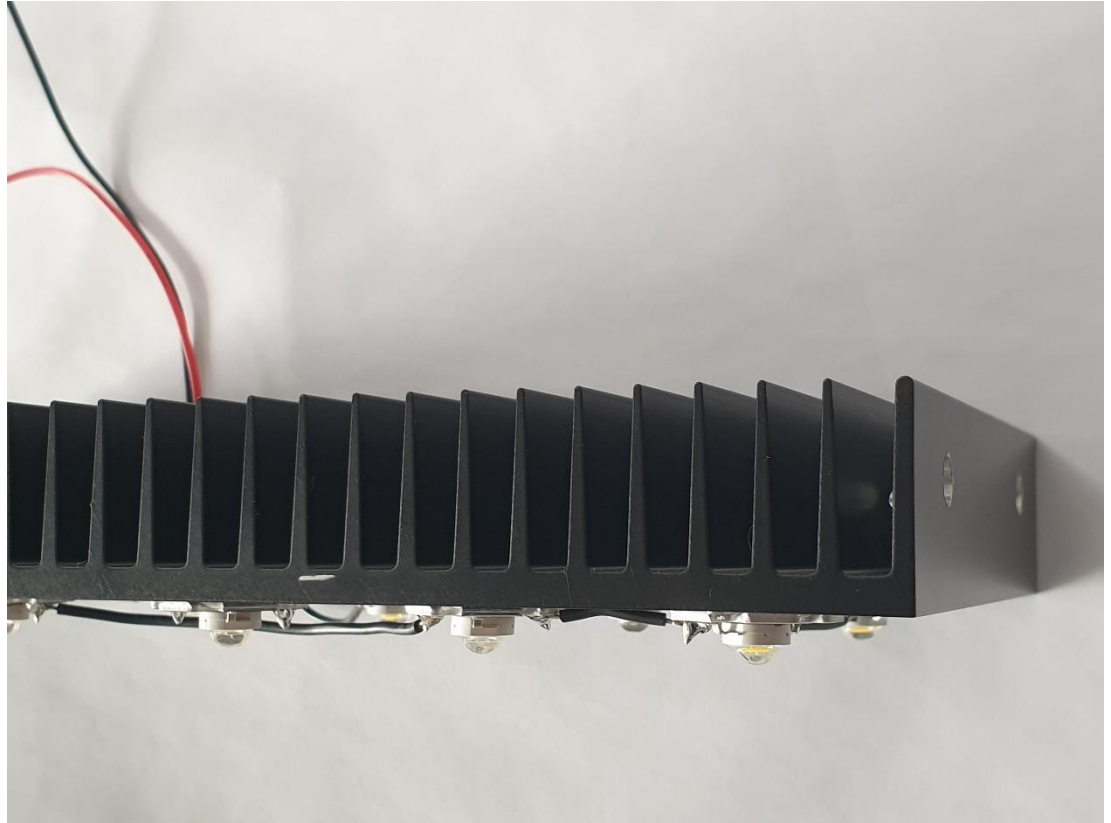
Korkeateho-LED-valot vaativat jäähdytystä. Vaikka ledien valoteho suhteessa sähköiseen asennustehoon on parantunut huomattavasti vuosien aikana, muuttuu asennustehosta edelleen huomattavan suuri osuus lämmöksi [20]. [20] mukaan vähintään puolet asennustehosta muuttuu lämmöksi. Piisirun korkea lämpötila laskee ledin suorituskykyä ja lämpötilan noustessa riittävästi, voi led pysyvästi vaurioitua [20]. Jos käytetään esimerkkinä konservatiivista 25 %:n valotehokkuuden arvoa, voidaan lämpöteho P_t laskea Yhtälöllä

$$P_t = 0.75 * V_f I_f \quad (2.7)$$

Missä V_f on ledin yli oleva myötäjännite ja I_f ledin läpi kulkeva virta [20].

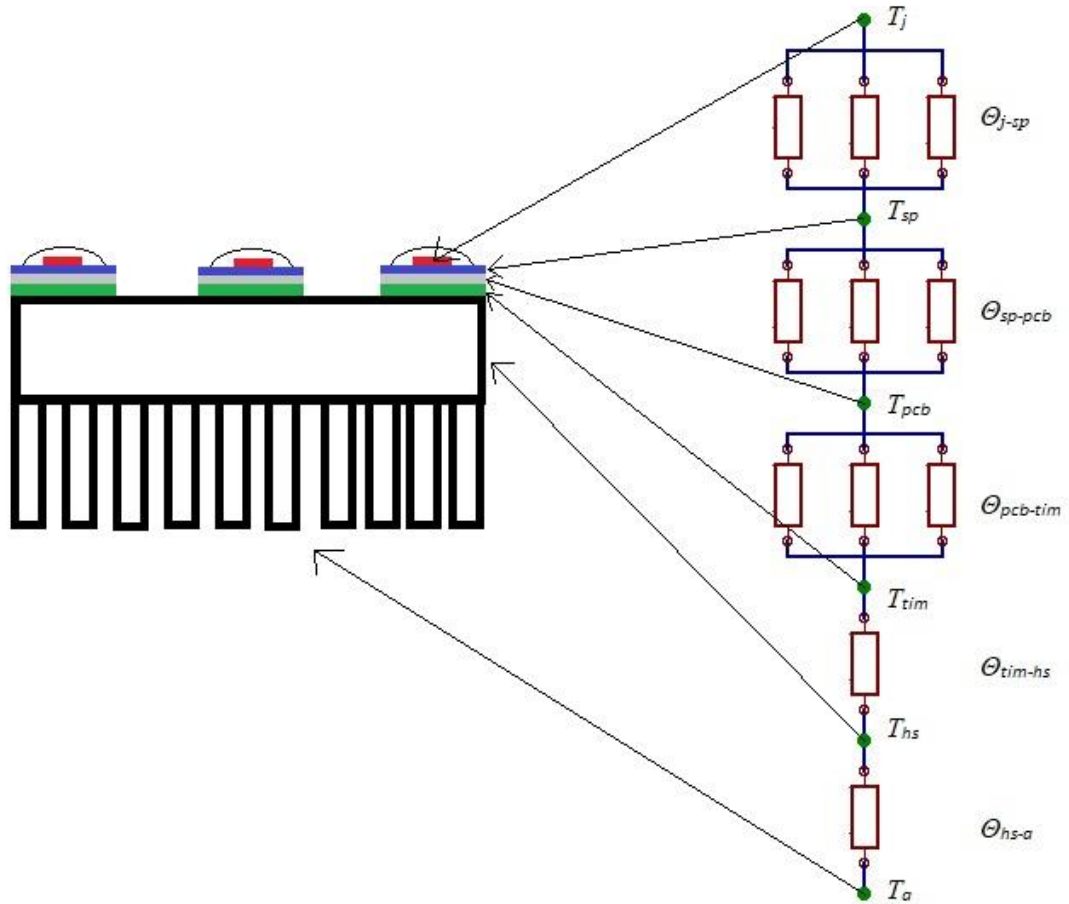
Jäähdytys voidaan jakaa aktiiviseen ja passiiviseen jäähdytykseen. Aktiivisessa jäähdytyksessä piisirun lämpötilaa pyritään kontrolloimaan esimerkiksi jäähdytyslevyn avulla ja jäähdytyslevyä puolestaan pyritään viilentämään esimerkiksi tuulettimesta saatavan ilmavirran avulla. Passiivinen jäähdytys toimii kuten aktiivinen, mutta nyt ulkoista ilmavirtaa tai muuta jäähdytyslevyn jäähdytyskeinoa ei ole [20]. Luotetaan siis siihen, että jäähdytyslevyn lämpötila pysyy riittävän alhaisena ilman ulkoista ilmavirtaa.

Tietyn kokoinen jäähdytyslevy yhdistettynä aktiiviseen jäähdytykseen voi nostaa sen jäähdytyskapasiteettia huomattavasti [20]. Passiivisen jäähdyksen eduksi voidaan laskea luotettavuus ja energiatehokkuus, koska mahdollisesti hajoavia ja energiaa kuluttavia lisäkomponentteja ei ole. Tässä projektissa ledien jäähdytykseen käytetään passiivista jäähdytystä. Kuvassa 2.5. nähdään jäähdytyslevy ja siihen lämpöliimalla kiinnitettyjä ledejä.



Kuva 2.5. Jäähdytyslevy LED-valoille

Lämpö ja sen virtaus eri materiaaleissa on erittäin monimutkainen ilmiö. Tietyille systeemille vaadittavan jäähdytyslevyn ominaisuuksia voidaan kuitenkin arvioida [20] esitetyn, niin sanotun lämpöpiiri analogian avulla. Kuvassa 2.6. havainnollistetaan sähköpiiriin verrattavaa lämpöpiiri- mallia.



Kuva 2.6. Lämpöpiiri -malli.

Missä T_j on ledin liitoslämpötila ($^{\circ}\text{C}$), T_{sp} on ledin juotos pisteen lämpötila, T_{pcb} on ledin piirilevyn lämpötila, T_{tim} on ledin kiinnittämiseen käytetyn materiaalin (lämpöliima) lämpötila, T_{hs} on jäähdytyslevyn lämpötila, T_a on ympäristön ilmanlämpötila ja Θ_{a-b} on lämpöresistanssi pisteestä a pisteeseen b yksikössä $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ (Celsius astetta per watti) [20].

Komponentit joita on lämpöpiirissä useampi kappale ovat rinnankytkettyinä. Yksittäiset komponentit ovat kytkettyinä sarjaan [20]. Usean komponentin systeemin kokonaislämpöresistanssi lasketaan samalla tavalla kuin sähköpiirien resistanssitkin. Sarjaankytkettyjen komponenttien kokonaisresistanssi on yksittäisten komponenttien lämpöresistanssien summa ja rinnan kytkettyjen komponenttien kokonaisresistanssi on yksittäisten komponenttien lämpöresistanssien käänteislukujen summan käänteisluku.

Kuvan 2.6. mallissa ledien piisirun liitoksessa muodostuva lämpö johtuu siis ledin muiden komponenttien, piirilevyn ja lämpöliiman kautta jäähdytyslevyyn ja jäähdytyslevystä lopulta ympäristöön [20].

Lämpöresistanssi Θ_{a-b} pisteen a ja b välillä lasketaan kaavalla

$$\Theta_{a-b} = \frac{T_a - T_b}{P_t} \quad (2.8)$$

Missä T_a on pisteen a lämpötila, T_b on pisteen b lämpötila ja P_t on lämpöteho yhtälöstä (2.7) [20].

Lämpöresistanssi arvot ilmoitetaan yleensä komponentin datalehdessä. Esimerkiksi tässä työssä käytetyn jäähdytyslevyn lämpöresistanssi arvoksi θ_{hs-a} jäähdytyslevyn ja ympäristön välillä on ilmoitettu olevan noin $1.1 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$ [21]. Jäähdytyslevyn lämpötila nousee siis noin 1.1 astetta jokaista siihen kohdistettua wattia kohden. Kuitenkin esimerkiksi lämpöliimalle ilmoitetaan lämmönjohtavuusarvo, koska lämpöliiman määrä on käyttäjän päätettävissä. Lämpöliiman lämpöresistanssi θ_{tim} voidaan laskea lämmönjohtavuuden avulla kaavalla

$$\theta_{tim} = \frac{L}{kA} \quad (2.9)$$

Missä L on liimakerroksen paksuus, k on liiman lämmönjohtavuusarvo ja A on liiman pinta-ala [20].

Lämpöpiiri mallilla voidaan siis arvioida LED -systeemille tarvittavaa jäähdytyskapasiteettia tai päinvastaisesta suunnasta katsottuna esimerkiksi asennettavien ledien maksimimäärää jo valitulle jäähdytyslevylle. Lämpöpiirimalli on kuitenkin yksinkertaistus monimutkaisesta ilmiöstä ja jos halutaan varmistus siihen, kuinka korkeaksi piisirun lämpötila todellisuudessa nousee, on mittauksia tehtävä esimerkiksi lämpökameran tai termopari-anturin avulla.

3. TOTEUTUS

3.1. Kasvihuone

Valmiita tai itse koottavia kasvihuoneita olisi ollut saatavilla. Kuitenkin niiden pieni tilavuus ja laserleikkaukseen soveltumattomat materiaalivalinnat olisivat koituneet ongelmaksi suurempien kasvien kasvatuksen ja kasvihuoneen rakenteiden muokkauksen kohdalla. Kasvihuone päätettiin suunnitella Autodeskin Fusion 360 suunnitteluohjelmalla. Fusion 360 on pilvipohjainen tuotekehitys ohjelma, jolla voidaan mallintaa esimerkiksi 3D-tulostettavia ja laserleikattavia komponentteja [23].

Kuvassa 3.1. nähtävän kasvihuoneen Fusion 360 -mallin perusteella kasvihuoneen seinät, ovi, katto sekä pohja laserleikattiin läpinäkyvästä, kolmen millimetrin paksuisesta polymetyylimetakylaatti levystä. Levyihin leikattiin kasaukseen liittyvien reikien lisäksi reiät muun muassa vesiletkujen läpiviennille, ilmanvaihdolle sekä eri komponenttien kiinnitykselle. Kaikki muut osat, esimerkiksi levyjen yhdistämiseen tarkoitetut kulmakiinnikkeet ja oven saranat valmistettiin 3D-tulostamalla. Kasvihuoneen mitat ovesta päin katsottuna ovat 225 mm x 450 mm x 450 mm (leveys x korkeus x syvyys).

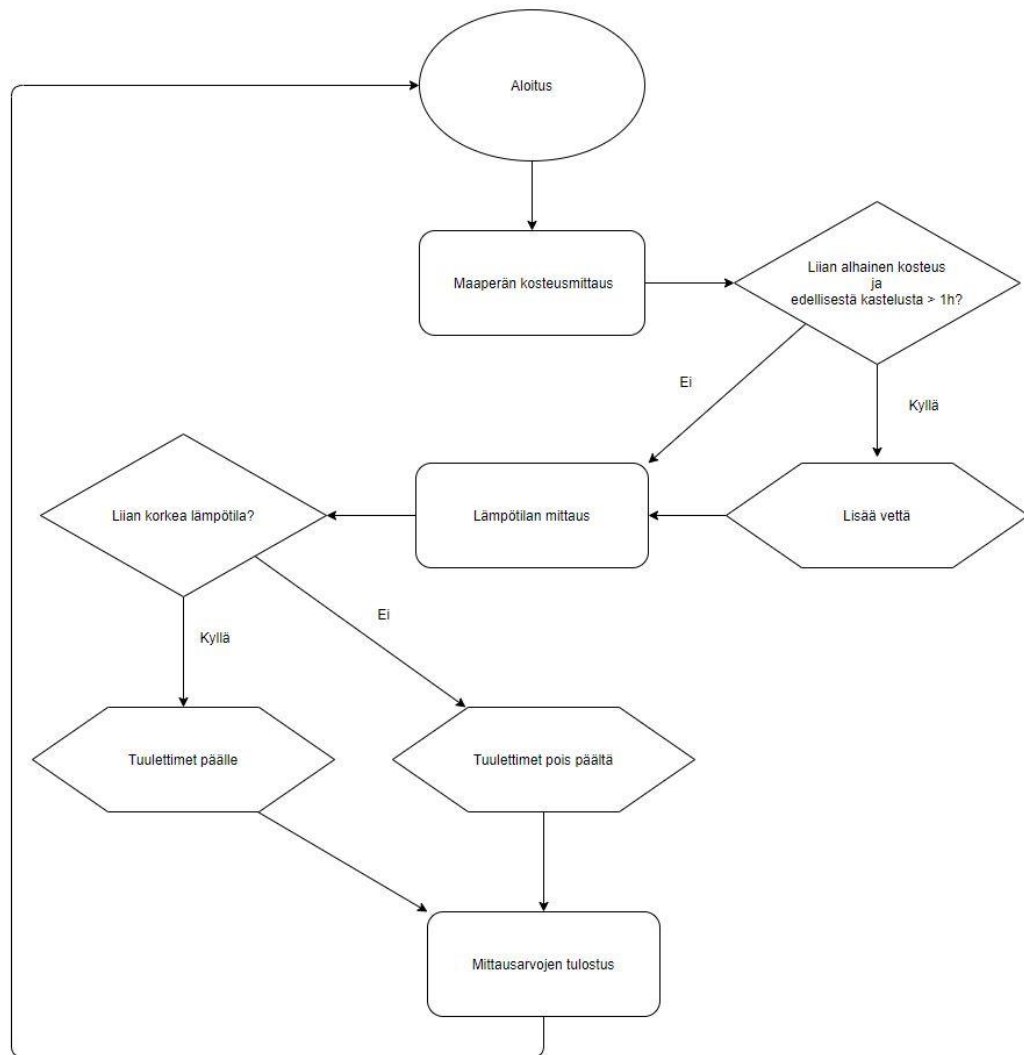


Kuva 3.1. Kasvihuoneen Fusion 360 malli.

3.2. Arduino ja ohjelmakoodi

Arduino UNO on ATmega328P-mikrokontrolleriin perustuva avoimen lähdekoodin kehitysalusta. Arduinon 14:ään digitaalista ja kuutta analogista I/O (lähtö/tulo) porttia sekä 3.3V ja 5V lähtöportteja voidaan kontrolloida laitteen muistiin ladatun C tai C++ ohjelmointikielillä kirjoitetun ohjelmankoodin avulla [23].

Tässä projektissa käytetyn ohjelmakoodin vuokaavio nähdään Kuvassa 3.2.



Kuva 3.2. Ohjelmakoodin vuokaavio.

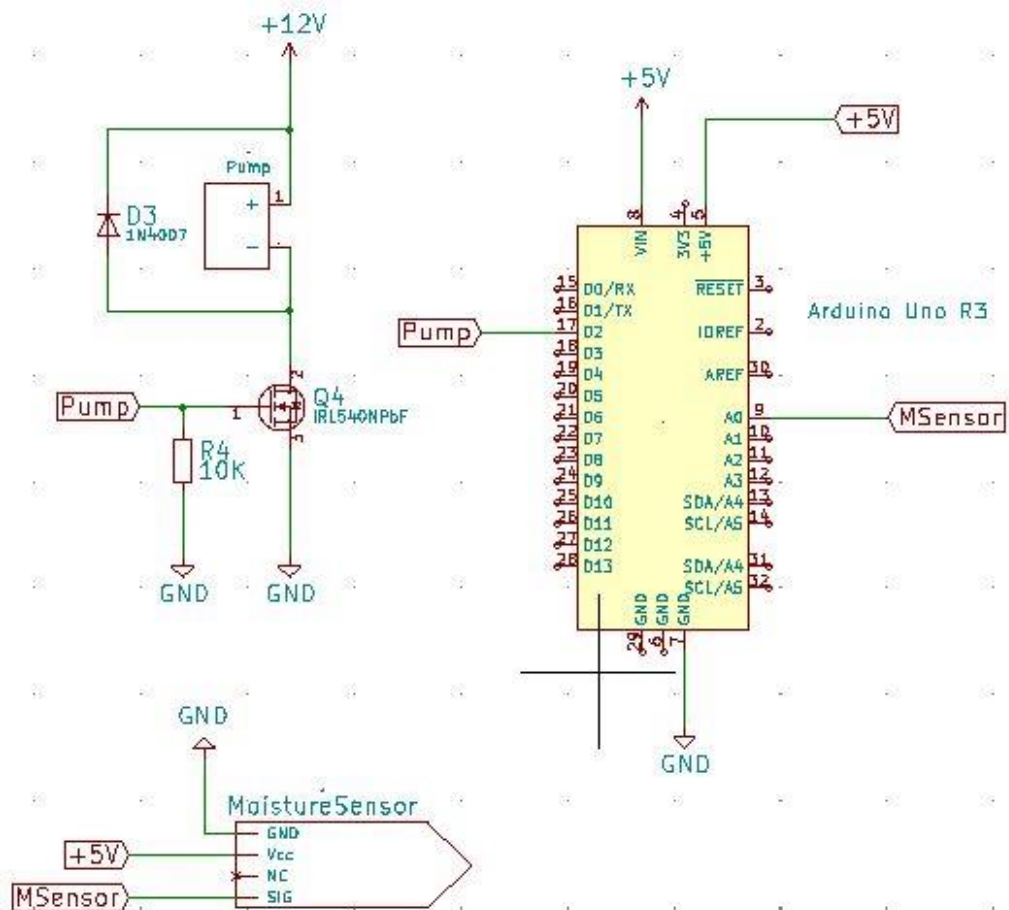
3.3. Kastelujärjestelmä

Kasvihuoneen kastelujärjestelmä toteutetaan seuraavia komponentteja käyttäen:

- Arduino Uno R3 -kehitysalusta
- Grove -kapasitiivinen kosteusanturi

- Comet Elegant -vesipumppu
- 1N4007 -diodi
- IRL540NPBF MOSFET -transistori
- 10 k Ω :n (kilo ohmia) vastus
- 12 V 5 A jännitelähde
- Piirilevy
- Johtimia
- Vesiletku

Kastelujärjestelmän tehtävänä on arvioida maaperän kosteutta kosteusanturilta tulevan arvon perusteella ja kytkeä vesipumppu tarvittaessa päälle. Vesipumppu on upotettuna vesisäiliöön ja se saa virtansa 12 V:n jännitelähteestä. Veden pumpulta istutusruukkuun kuljettaa elintarvikekelpoinen vesiletku. Kuvassa 3.3 nähdään kastelujärjestelmän kytkentäkaavio.



Kuva 3.3. Kastelujärjestelmän kytkentäkaavio

Kosteusanturi on sijoitettu istutusruukkuun ja Arduino lukee sen välittämän tiedon maaperän kosteudesta. Sopiva maaperän kosteuden raja-arvo, eli liian kuivaa maaperää indikoiva jännitearvo on arvioitu kahden henkilön toimesta käsittämällä.

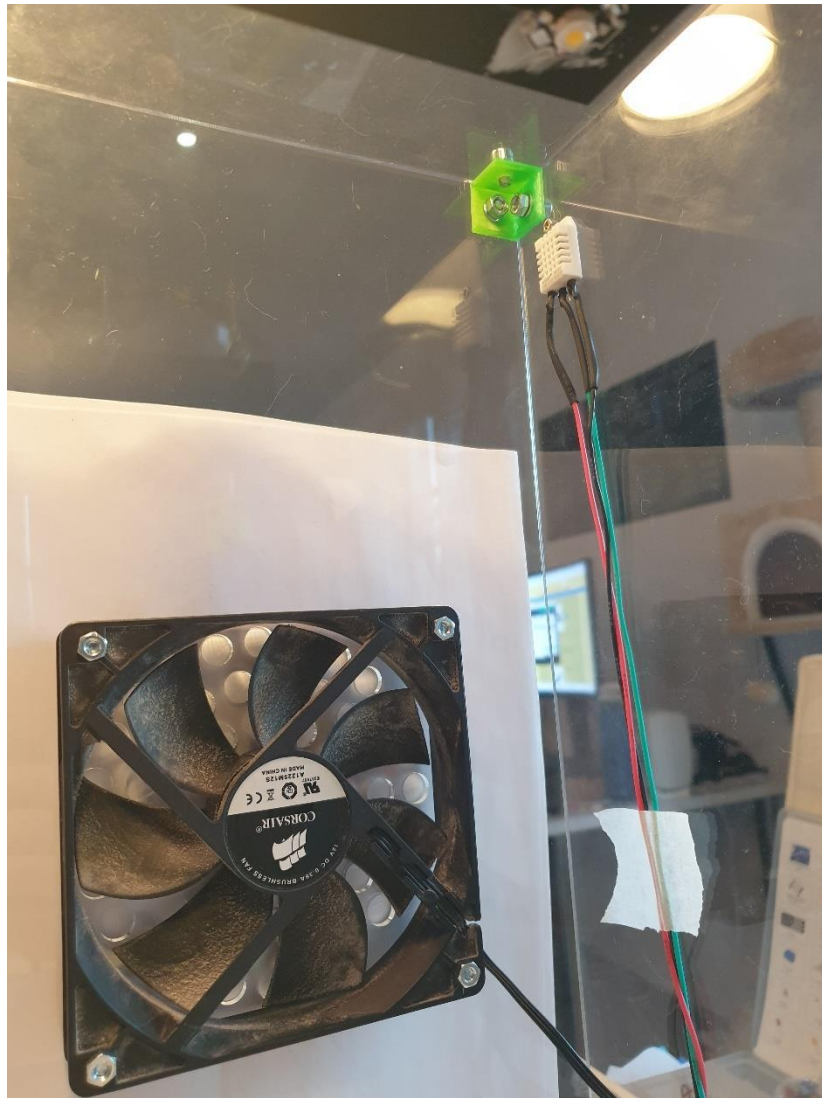
Kosteusanturin välittämän arvon ylittäessä raja-arvon, Arduinon digitaalinen portti D2 kytketään jännite ja transistorin Q4 ja siten myös pumpun läpi kulkee virta (ks. Kuva 3.3). Transistori toimii siis kytkimenä. Pumppu on päällä testauksessa määritetyn ajanjakson, jotta pumpataan sopiva määrä vettä. Pumpun pumppaamista on rajoitettu tunnin aikaväleihin ylikastelun välttämiseksi koska ruukkuun juuri syötetyllä vedellä kestää oletettavasti hetki levitä maaperään.

3.4. Ilmanvaihto

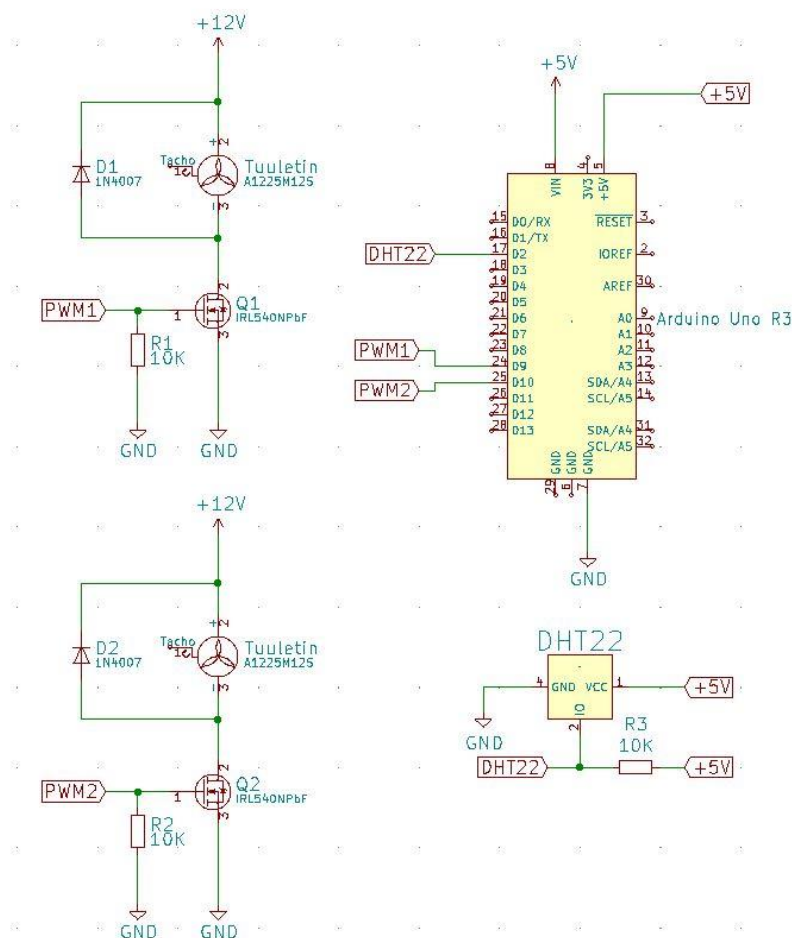
Kasvihuoneen sisäilman lämpötilaa tarkkaillaan ja ilmanvaihtoa toteutetaan seuraavilla komponenteilla:

- Arduino Uno R3 -kehitysalusta,
- DHT22 -digitaalinen lämpötila- ja ilmenteksteusanturi,
- 2 kpl 120 mm Corsair A1225M12S tuuletin,
- 2 kpl IRL540NPbF -transistori (Q1 ja Q2),
- 2 kpl 1N4007 -diodi (D1 ja D2),
- 3 kpl 10 k Ω :n vastus,
- 12 V 5 A jännitelähde,
- Piirilevy
- Johtimia

Ilmanvaihdon tehtävänä on sisäilman lämpötilan pitäminen alle 25 °C:ssa tuomalla viileämpää ilmaa kasvihuoneen sisälle, kasvihuoneen ulkopuolelta. Tuulettimet sekä DHT22 -anturi ovat kiinnitettynä kasvihuoneen sisäpinnoille ruuveilla Kuvan 3.4. mukaisesti. Ilmanvaihtojärjestelmän kytkentäkaavio Kuvassa 3.5.



Kuva 3.4. Tuuletin ja DHT22 -anturi



Kuva 3.5. Tuulettimien ja DHT22 -anturin kytkentäkaavio.

Tuulettimien jännitelähteenä toimii sama 12 V jännitelähde kuin vesipumpunkin tapauksessa. Ohjelmakoodissa luetaan DHT22 -anturin välittämää lämpötilalukemia ja säädetään tuulettimien pyörimisnopeutta lukeman perusteella. Tuulettimien pyörimisnopeutta säädetään Arduinon porteista D9 ja D10 lähtevillä digitaalisilla PWM1 ja PWM2 signaaleilla. Kytkenäkaaviossa transistorit Q1 ja Q2 toimivat kytkiminä. Kun lähtöön D9 tai D10 kytketään 5 V jännite, virta pääsee kulkemaan transistorin läpi ja myös siten tuulettimen läpi (ks. Kuva 3.5).

3.5. Valaistus

Kasvihuoneen valaistusjärjestelmä koostu seuraavista komponenteista:

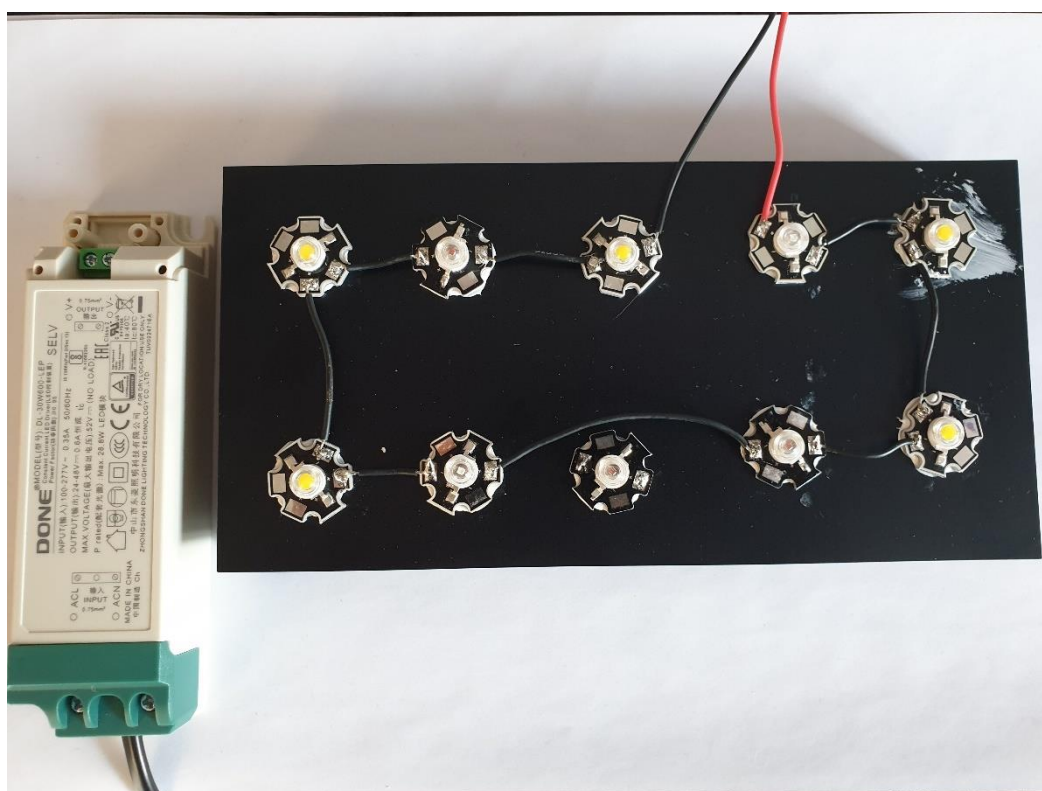
- 5 kpl Lämpimän valkoinen teho-LED-valo
- 2 kpl Punainen teho-LED-valo
- 2 kpl Sininen teho-LED-valo
- DONE DL30W600-LEP -tasavirtalähde
- Austerlitz Electronic KS200-100E -jäähdytyslevy

- Lämpöliimaa,
- Johtimia
- Energy+ -pistorasia ajastin

Asennuksen helpottamiseksi ledit on valmiiksi juotettuna kuusikulmion muotoiseen piirilevyyn.

LED-valoista viisi tuottaa niin sanottua lämpimän valkoista valoa. Valkoisen ledin aallonpituus spektri koostuu kaikista aallonpituuksista 400-700 nm välillä, painoittuen noin 430-460 nm ja 510-680 nm aallonpituuksille. Maksimiarvot valkoisten ledien teholle, myötäjännitteelle, liitoslämpötilalle ja liitos-kotelo-lämpöresistanssille, tässä järjestyksessä, ovat 3 W, 4 V, 115 °C ja 12 °C/W. Edellä mainitut arvot on mitattu virran ja ympäristön lämpötilan arvoilla 750 mA ja 25 °C. [24]. Ledeistä kaksi tuottaa syvänpunaista valoa (640-660 nm). Maksimiarvot punaisten ledien teholle, myötäjännitteelle, liitoslämpötilalle ja liityntä-kotelo-lämpöresistanssille ovat 2.08 W, 2.6 V, 115 °C ja 12 °C/W. Edellä mainitut arvot on mitattu virran ja ympäristön lämpötilan arvoilla 800 mA ja 25 °C [25]. Viimeiset kaksi lediä tuottaa syvänsinistä valoa (440-450 nm). Maksimiarvot sinisten ledien teholle, myötäjännitteelle, liitoslämpötilalle ja liitos-kotelo-lämpöresistanssille ovat 3 W, 4 V, 115 °C ja 12 °C/W. Edellä mainitut arvot on mitattu virran ja ympäristön lämpötilan arvoilla 750 mA ja 25 °C. [26].

Ledit ovat kytketty sarjaan Kuvan 3.6 mukaisesti ja kiinnitetty jäähdytyslevyyn lämpöliimalla.



Kuva 3.6 Valaistusjärjestelmä.

Lämpöliiman lämmönjohtavuusarvo on 0.975 W/m-°C [27]. Jäähdytyslevy on alumiinista valmistettu ja sen lämpöresistanssi arvo on 1.1 °C/W [21]. Jäähdytyslevyn

reunimmaisiin eviin porattiin 4 reikää ja se kiinnitettiin kasvihuoneen kattoon koukkuruuveilla.

Ledien virtalähteenä toimii 600 mA (milliampeeri) tasavirtalähde. Virtalähteen maksimiteho on 28.8 W [28]. Ledien yhteenlaskettu teoreettinen asennusteho 600 mA virralla yhtälöä (2.7) sekä ledien myötäjännitteitä hyväksikäyttäen on 19.92 W. Asennustehosta vain osa muuttuu valoksi. Ledien valotusteho ei kuitenkaan ole tiedossa, joten erittäin konservatiiviseksi valotustehon arvoksi käytettiin 25 % asennustehosta. Siis yhtälön (2.7) avulla voidaan laskea lämpötehoksi 14.94 W. Virtalähde on kytkettynä pistorasia ajastimeen, joka on päällä 16 tuntia vuorokaudessa.

4. TESTAUS

4.1. Kastelujärjestelmä

4.1.1. Vesipumpun kalibrointi ja luotettavuus

Vesipumpun luotettavuutta veden määrän tasaisuuden suhteen mitattiin asettamalla vesisäiliö kasvihuoneen ulkopuolelle, istutusruukku kasvihuoneen keskelle ja viemällä vesiletku säiliöltä ruukkuun kasvihuoneen seinässä olevan läpiviennin kautta. Tällä simuloitiin todellista kastelutilannetta. Vesipumppu laitettiin päälle 100 ms (millisekunti) ajaksi ja mitattiin ruukkuun tulevan veden määrä ruiskulla, jossa oli 0.5 ml:n (millilitra) asteikko. Mittaus toistettiin 10 kertaa. Mittauksen tulos nähdään Taulukossa 4.1.

Keskiarvo \pm virhe (ml)	Keskihajonta (ml)
15,1 \pm 0,5	0,07

Taulukko 4.1. Vesipumpun toimittaman veden määrä 100 ms ajanjaksolla.

Mitatun noin 15 ml:n arvioitiin olevan myös sopiva määrä varsinaiselle kastelulle ja vesipumpun päälläoloajaksi määritettiin 100 ms.

4.1.2. Kosteusanturin kalibrointi ja luotettavuus

Arduinon 10 bittinen A/D-muunnin (analogia-digitaalimuunnin) kuvaa kosteusanturin välittämän jännitearvon kokonaislukuna välille [0,1023]. Kokonaisluku kuvataan suhteessa anturin käyttöjännitteeseen, joka on tässä tapauksessa 5 V [23]. Luku 0 ilmaisee siis jännitearvoa 0 V ja luku 1023 jännitearvoa 5 V. Arduinon ilmoittamat lukemat voidaan palauttaa takaisin jännitearvoiksi V Yhtälöllä

$$V = x * \frac{5 V}{1023} \quad (4.1)$$

Missä x on arduinon ilmoittama kokonaisluku, 5 V on anturin käyttöjännite ja 1023 on 10-bittisen A/D-muuntimen suurin arvo.

Kastelua vaativan maaperän jännitearvo kalibroitiin mittaamalla ilman, veden, liian kuivan maaperän sekä liian kostean maaperän jännitearvot. Kaikista edellä mainituista tapauksista otettiin 20 näytettä ja mittauksen tulokset nähdään Taulukossa 4.2.

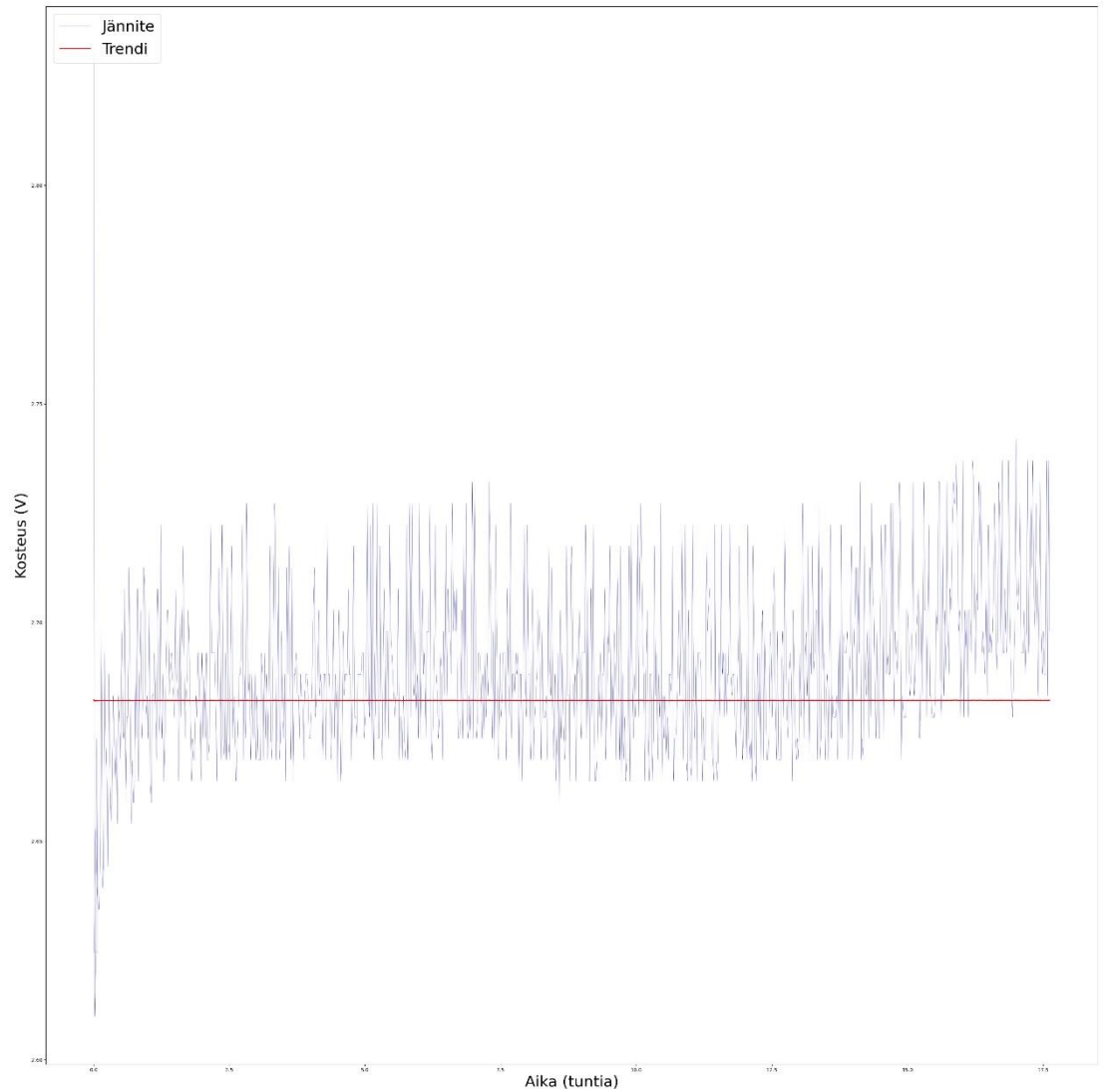
Väliaine	Keskiarvo \pm virhe (V)	Keskihajonta (V)
Huoneilma	$3,743 \pm 0,007$	0,022
Vesi	$2,445 \pm 0,006$	0,017
Kuiva maaperä	$3,386 \pm 0,008$	0,023
Kostea maaperä	$2,492 \pm 0,004$	0,010

Taulukko 4.2. Eri väliaineiden jännitearvot.

Mitattujen jännitearvojen sekä kahden henkilön käsittelyn perusteella sopivaksi kastelun raja-arvoksi valittiin 2.933 V. Kun jännite ylittää tämän raja-arvon, pumppu käynnistetään 100 ms ajaksi.

4.1.3. Maaperän kosteus pitkällä aikavälillä

Maaperän kosteuden muutosta mitattiin 17.5 tunnin mittauksella. Mittaus alkaa tilanteesta, jossa maaperä on juuri kasteltu. Mittauksen tulokset ja kuvaajan trendi nähdään Kuvassa 4.1.

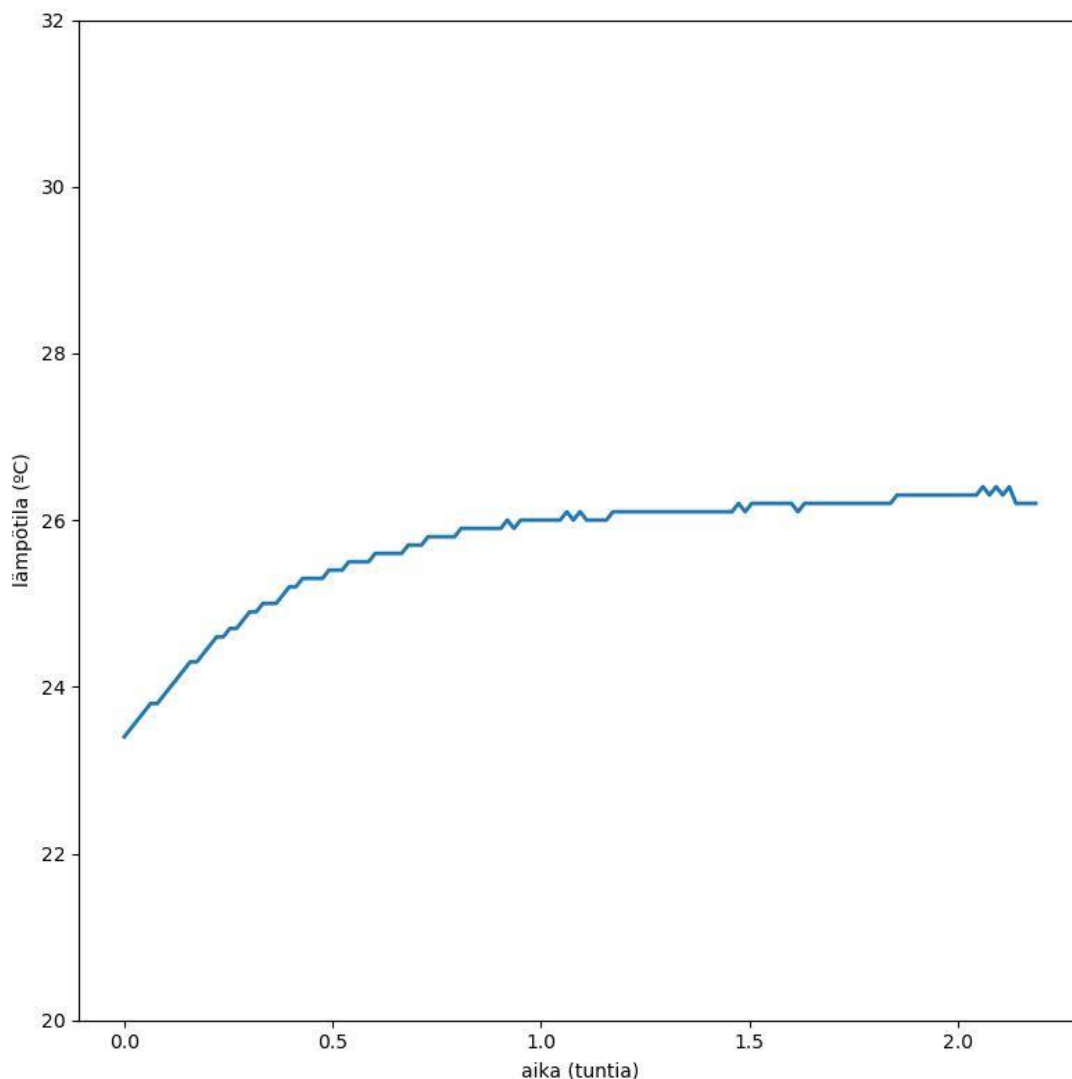


Kuva 4.1. Maaperän kosteus 17.5 tunnin ajanjaksolla.

Kuvassa 4.1. nähtävän maaperän kosteuden trendin kulmakerroin on 0.001147. Anturin välittämä jännitelukema nousee siis noin 1.15 mV per tunti.

4.2. Ilmanvaihto ja lämpötila

Ennen varsinaista lämpötilan hallintajärjestelmän testausta suoritettiin mittaus kasvihuoneen yleisistä olosuhteista ilman lämpötilanhallintaa. Kasvihuoneen ovi suljettiin ja juuri kasteltu basilika asetettiin kasvihuoneeseen. Kasvihuoneen valot kytkettiin päälle. Kuvassa 4.2. nähdään kasvihuoneen lämpötilakuvaaja kahden tunnin testijakson ajalta. Kasvihuoneen sisälämpötila testin alussa oli 23.4 °C.



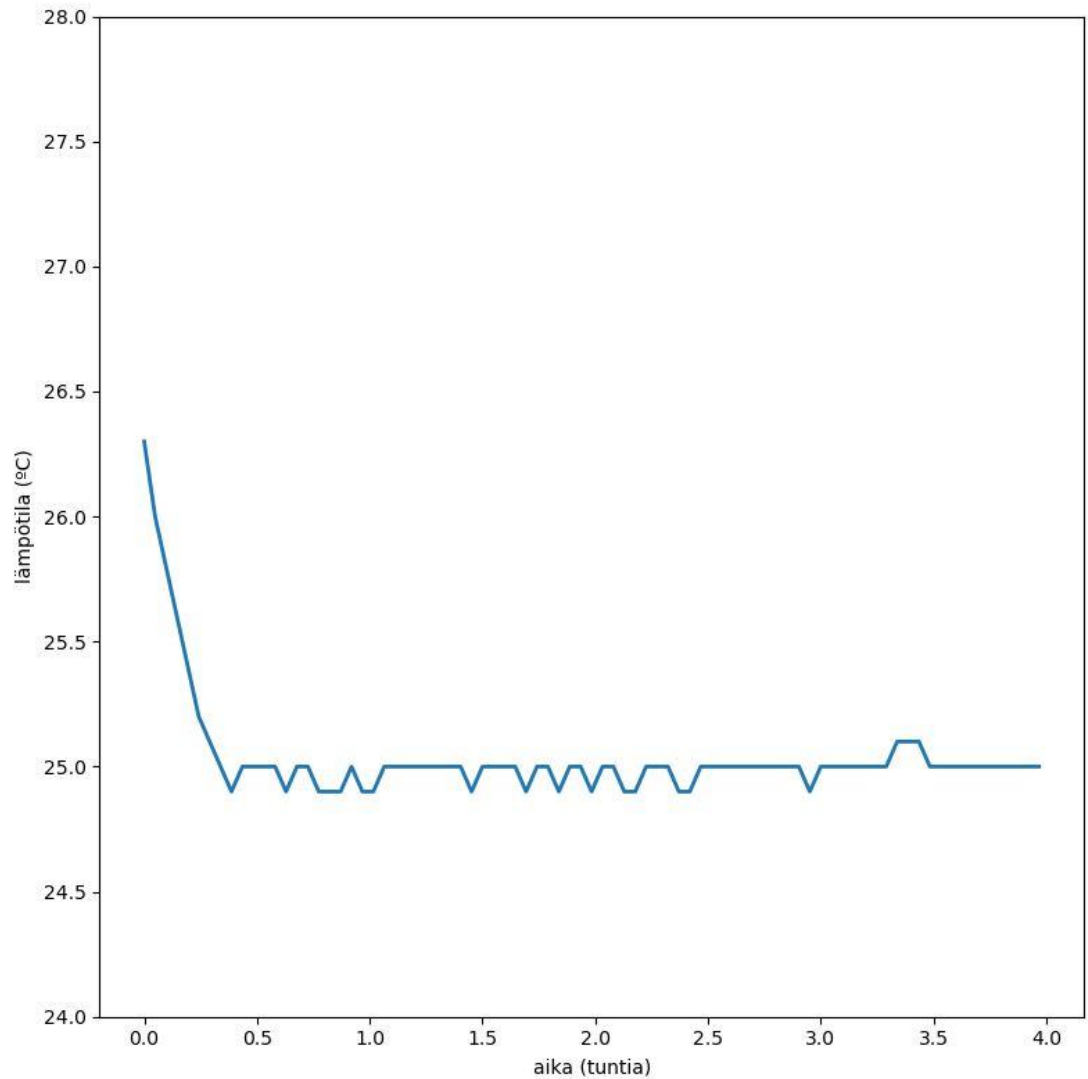
Kuva 4.2. Kasvihuoneen lämpötila ilman lämpötilan hallintaa

Kuvaajasta nähdään, että lämpötila kasvihuoneen sisällä nousee 23.4 °C:sta noin 26.2 °C:seen. Lämpötilaa hallitaan tuomalla viileämpää ilmaa kasvihuoneen ulkopuolelta sen sisäpuolelle kahden tuulettimen avulla. Tuulettimien pyörimisnopeuksia hallitaan ohjelmakoodissa lukemalla lämpötila-anturin ilmoittama lämpötila ja asettamalla tuulettimille sopiva pyörimisnopeus. Kasvihuoneen lämpötila pyritään pitämään basilikalle optimaalisessa 25 °C:ssa. Tuulettimien suhteelliset pyörimisnopeudet suhteessa mitattuun lämpötilaan nähdään Taulukossa 4.2.

Lämpötila t (°C)	Tuulettimien suhteellinen pyörimisnopeus
$25 \leq t < 26$	50%
$26 \leq t < 27$	75%
$t > 27$	100%

Taulukko 4.2. Tuulettimien suhteelliset pyörimisnopeudet suhteessa lämpötilaan

Lämpötilan hallintajärjestelmän testauksessa lämpötila pyrittiin tasoittamaan 25 °C:seen, aloittaen Kuvan 4.2. lopputilanteesta, jossa lämpötila kasvihuoneessa on 26.2 °C. Kuvassa 4.3 nähdään kasvihuoneen lämpötilakuvaaja 4 tunnin testijakson ajalta.



Kuva 4.3. Kasvihuoneen lämpötila lämpötilan hallinnan kanssa.

Kuvasta 4.3. nähdään, että järjestelmän kykenee pitämään lämpötilan 25 ± 0.1 °C:ssa testijakson aikana.

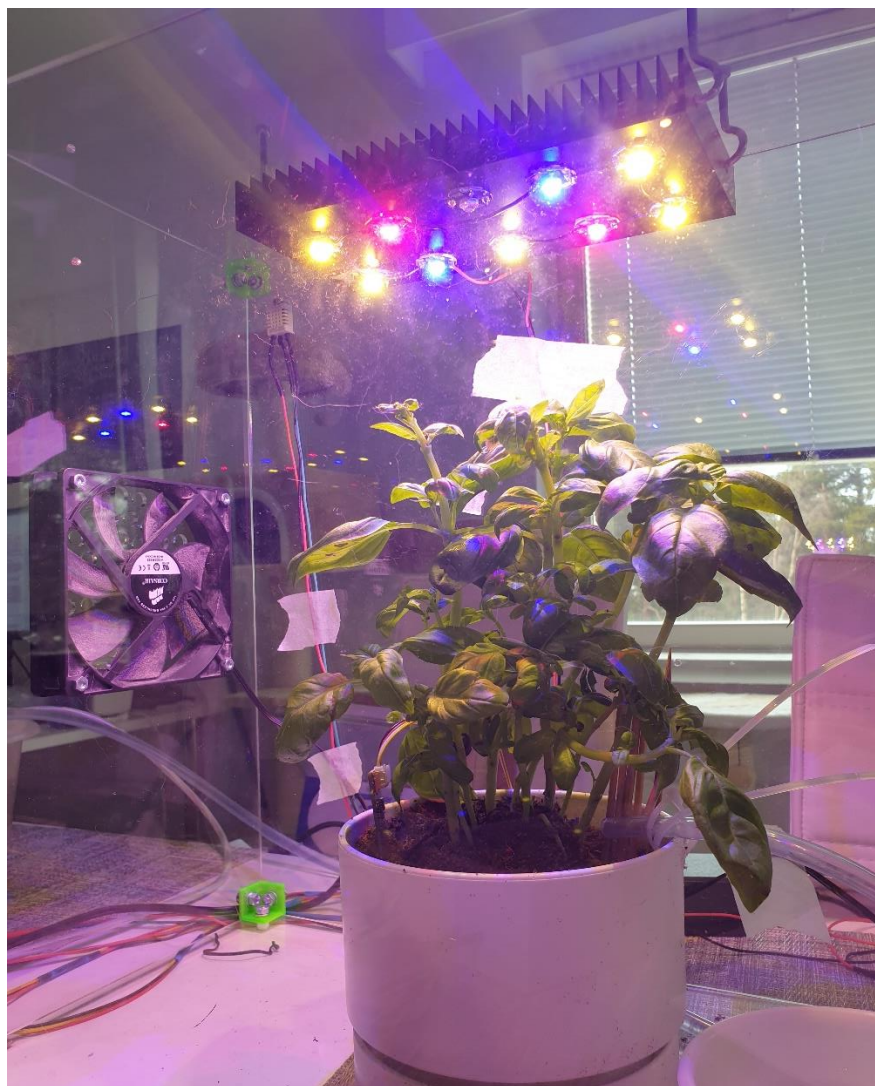
4.3. Valaistus

4.3.1. Valon laatu ja intensiteetti

Rakennetun kasvatusvalon toimittaman valon laatua ja määrää ei pystytty kvantitatiivisesti mittaamaan. Kevään 2020 koronavirus pandemian seurauksena yliopisto jouduttiin sulkemaan ja tarvittavia mittalaitteita ei täten ollut saatavilla.

Valon laadun ja intensiteetin mittaukseen oli tarkoitus käyttää spektrometriä.

Ledien aallonpituudet on kuitenkin valittu tarkasti teorian pohjalta ja myös kaupallisissa kasvatusvaloissa käytetään usein samojen aallonpituuksien yhdistelmää, kuin tässä projektissa rakennetussa kasvatusvalossa. Valojen asennusteho 19.92 W voidaan katsoa myös olevan todennäköisesti riittävä basilikan kasvatukseen, kun otetaan huomioon kasvihuoneen pieni tilavuus. Edellä mainituista arvioista ei voida kuitenkaan varmistua ilman konkreettisia mittauksia. Asennusteho ei myöskään kerro totuutta lopulta kasvien pinnalle päätyvän valon määrästä. Kuvassa 4.4. nähdään vielä kasvihuone ja kasvatusvalot toiminnassa.



Kuva 4.4. Kasvihuone.

4.3.2. Jäähdytys

Myöskään ledien liitoslämpötilaa ja sitä kautta jäähdytyslevyn kapasiteetin riittävyyttä ei pystytä tarkasti määrittämään ilman vaadittavia mittausvälineitä. Mittaukseen oli tarkoitus käyttää termopari-anturia. Termopari-anturi juotetaan kiinni ledin piirilevyyn ja sen avulla voidaan epäsuorasti arvioida liitoslämpötilaa.

Ledien liitoslämpötilaa T_j voidaan kuitenkin karkeasti arvioida myös mittaamalla jäähdytyslevyn lämpötilaa infrapunalämpömittarin avulla ja johtamalla ledien liitoslämpötila Kuvan 2.7. lämpöpiiri -mallin avulla. Jäähdytyslevyn korkeimmaksi mitatuksi lämpötilaksi T_{hs} saatiin mitattua $46.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, kasvihuoneen sisälämpötilan T_a olessa $26.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lämpöliiman asennus pinta-alaksi arvioitiin 0.004 m^2 ja paksuudeksi 0.0005 m . Sijoittamalla pinta-ala, paksuus sekä lämpöliiman ilmoitettu lämmönjohtavuusarvo $0.975\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$ yhtälöön (2.9), saadaan lämpöliiman lämpöresistanssi arvoksi θ_{tim} laskettua $1.28\text{ }^{\circ}\text{C/W}$. Kaikkien ledien piirilevy-liitos lämpöresistanssi arvoksi θ_{j-pcb} on ilmoitettu $12\text{ }^{\circ}\text{C/W}$. Ledien mitatut myötäjännitteet V_f , virtalähteen virta I_f ja tehot P_t nähdään Taulukossa 4.3.

LED	Myötäjännite V_f (V)	Teho P_t (W), kun $I_f = 605\text{ mA}$
Sininen	3,17	1,918
Punainen	2,45	1,48
Valkoinen	3,41	2,06

Taulukko 4.4. Ledien lasketut myötäjännitteet ja tehot

Kokonaistehoksi P_t Taulukon 4.4. arvoista voidaan laskea ledien lukumäärät huomioiden 17.12 W . Kokonaislämpöresistanssi θ_{j-hs} jäähdytyslevyn ja ledien liitoksen välillä saadaan laskettua Yhtälöstä

$$\theta_{j-hs} = \frac{(\theta_{j-pcb} + \theta_{tim})}{n} \quad (4.2)$$

Missä θ_{j-pcb} on ledin liitoksen ja piirilevyn välinen lämpöresistanssi, θ_{tim} on lämpöliiman lämpöresistanssi ja n on ledien lukumäärä [20]. Kokonaislämpöresistanssiksi saadaan $1.475\text{ }^{\circ}\text{C/W}$. [20] mukaan lopullinen liitoslämpötila T_j saadaan Yhtälöstä

$$T_j = T_{hs} + (P_t * \theta_{j-hs}) \quad (4.3)$$

Sijoittamalla edellä lasketut arvot yhtälöön (4.3) saadaan ledin liitoslämpötilaksi T_j noin $72\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. TULOKSET

5.1. Kastelujärjestelmä

Kasvihuoneen kastelujärjestelmän vesipumppu osoittautui luotettavuus testissä erittäin luotettavaksi. Kymmenen testipumppauksen keskihajonta oli vain 0.07 ml, eli noin 0.5 % keskiarvosta. Kosteusanturin mittaamissa jännitelukemissa oli kohtuullisen huomattavaa hajontaa, vaikka mittausalgoritmi otti jo valmiiksi 10 näytteen otoksen, joista palautettiin kuuden keskimmäisen näytteen keskiarvo. Tämä on kuitenkin ymmärrettävää, koska maaperä elää jatkuvasti ja esimerkiksi pienet ilmakuplat vaikuttavat väliaineen permittiivisyyteen ja sitä kautta mitattuun jännitteeseen.

Kastelua vaativan maaperän kosteus määritettiin kahden henkilön toimesta käsituntumalla. Tämä ei tietystikkään ole optimaalinen menetelmä vaikka toki kasvin hengissä pitämiseen se vaikutti riittävän. Jos kosteusarvo joudutaan määrittämään käsituntumalla, olisi arvioijia syytä olla useampia kuin kaksi. Vaihtoehtoisesti voitaisiin esimerkiksi kuivattamisen ja punnitsemisen avulla määrittää tarkemmin maaperän todellista vesipitoisuutta ja etsiä tietoa optimaalisesta vesipitoisuudesta.

Kun maaperän kosteuden muutosta arvioitiin pidemmässä testissä, jännitteenmuutos tunnin aikajaksolla oli erittäin pieni, vain noin 1.15 mV. Tähän olisi tarvittu pidemmän aikavälin mittaus, jotta oltaisiin voitu arvioida miten yksittäinen kosteusanturi suoriutuu maaperän tarkkailussa. Voitaisiin myös tarkastella anturin eri sijoituspisteiden vaikutusta mittauksiin.

5.2. Ilmanvaihto

Ilmanvaihtojärjestelmän testaus osoitti lämmönhallintaratkaisun toimivaksi. Kasvihuoneen lämpötila pystyttiin tarkasti pitämään 25 °C:ssa, eli basilikalle optimaalisessa lämpötilassa. Jatkotestiksi voitaisiin pohtia ilmankosteuden mittaamista. Testauksessa tuulettimet pyörivät usein, jotta lämpötila pystytään pitämään halutussa pisteessä. Tämä tapahtuu todennäköisesti ilmankosteuden kustannuksella. [5] Mukaan pienet vaihtelut 25 °C:een ympäristössä eivät merkittävästi heikennä kasvuolosuhteita. Voitaisiin tutkia, onko jonkinlainen ilmankosteuden ja lämpötilan kompromissi mahdollisesti parempi ratkaisu.

5.3. Valaistus

Kuten jo aikasemmin mainittiin, valaistuksen laatua ja määrää sekä jäähdytyksen riittävyttä ei pystytty testaamaan ilman tarvittavaa mittalaitteistoa. Teoriaan perustuvan suunnittelun johdosta ja basilikan yleisilmeestä voidaan kuitenkin päätellä, että järjestelmä on ainakin toimiva, jos ei välttämättä optimaalinen. Lämpöpiirimalli avulla johdettu ledien liitoslämpötila on esimerkiksi termopari mittaukseen verrattuna epätarkka menetelmä. Lämpöpiirimallissa yksinkertaistetaan todellisuudessa monimutkaista tilannetta. Todellisuudessa lämpötiloihin vaikuttaa myös esimerkiksi se, minkälaiseen muodostelmaan ledit on asennettu jäähdytyslevyyn [29]. Laskelma

vaikuttaa kuitenkin lupaavalta jäähdytyksen riittävyyden kannalta ja voidaan olla suhteellisen luottavaisia sen suhteen, että maksimi liitoslämpötila ei ylity. Myös se fakta, että lamput ovat olleet jo pitkään toiminnassa ilman merkkejä vikaantumisista tukee tätä arviota.

6. YHTEENVETO

Projektissa rakennettiin automaattinen kasvihuone basilikan kasvatuksen helpottamiseksi. Automaattiseen kasvihuoneeseen implementoitiin kastelujärjestelmä, ilmanvaihtojärjestelmä ja kasvatusvalot. Ilmanvaihtojärjestelmän toteutus todettiin onnistuneeksi. Kastelujärjestelmä vaatii vielä kehitystä optimaalisten kosteus raja-arvojen määrittämisen suhteen ja mahdollisesti kosteusanturin sijoittelun suhteen. Kastelujärjestelmä vaati myös pidempiaikaista testausta, jotta sen toimivuudesta voidaan varmistua. Valaistuksen optimaalisuuteen ei voitu ottaa tarkasti kantaa ilman vaadittavia mittauslaitteita. Rakennetun kasvatusvalon suorituskyvyn todettiin kuitenkin olevan ainakin riittävä, jos ei aivan optimaalinen teorian pohjalta tehtyjen laskelmien ja kasvin yleisilmeen perusteella.

7. LÄHTEET

- [1] Ruokatieto (2020) Kasvisten tuotanto suomessa. URL: <https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/keittio/ruuan-raaka-aineet/kasvikset>. Viitattu 27.04.2020
- [2] Barrett D (2007) Maximizing the nutritional value of fruits & vegetables. *Food Technology*. 61(4):40-44.
- [3] Ruokavirasto (2014-2019) Luomuvälvönnän tilastot ja tietohaut. URL: <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/luomumaatilat/tilastot-ja-tietohaut/>. Viitattu 27.04.2020.
- [4] Maa- ja metsätalousministeriö (2013) Hallituksen lähiruokaohjelma ja lähiruokasektorin kehittämisen tavoitteet vuoteen 2020. URL: <https://mmm.fi/documents/1410837/1890227/L%C3%A4hiruokaohjelmaFI.pdf/a30211ac-ff80-4722-984f-3fc26e5c1467>. Viitattu 27.04.2020.
- [5] Chang X, Alderson P & Wright C (2005). Effect of temperature integration on the growth and volatile oil content of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 80(5). 593-598. DOI: 10.1080/14620316.2005.11511983.
- [6] Praveen B & Jayantilal P (2019) Determination of soil moisture using various sensors for irrigation water management. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 08:2278-3075
- [7] Randall D (2014) *Physics for scientists and engineers: a strategic approach with modern physics*. Harlow, Pearson.
- [8] AEMC (2008) Why measure soil resistivity? URL: <https://www.pema.ie/PDFs/App-Ground-SoilResistivity.pdf>. Viitattu 27.04.2020
- [9] Seedstudio. Grove – Capacitive soil moisture sensor (corrosion resistant). URL: <https://www.seedstudio.com/Grove-Capacitive-Moisture-Sensor-Corrosion-Resistant.html>. Viitattu 27.04.2020.
- [10] Texas Instruments (2014) TI Designs: Capacitive-based liquid level sensing sensor reference design. URL: <http://www.ti.com/lit/ug/tidu736a/tidu736a.pdf>. Viitattu 27.04.2020
- [11] Wilson J (2005) *Sensor technology handbook*. Burlington, Newnes.
- [12] Adafruit (2012) DHT11, DHT22 and AM2302 sensors. URL: <https://learn.adafruit.com/dht>. Viitattu 27.04.2020.
- [13] Nelson J & Bugbee B (2014) Economic analysis of greenhouse lighting: Light emitting diodes vs. high intensity discharge fixtures. *PLoS ONE* 9(6): e99010. DOI: 10.1371/journal.pone.0099010

- [14] Kasap S (2013) Optoelectronics and photonics: principles and practices. Upper Saddle River, Pearson cop.
- [15] Schubert F (2003) Light-emitting diodes. Cambridge, Cambridge University Press.
- [16] Ilmatieteen laitos. Valo ja spektri. URL: <https://space.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/valonsade/spektri.html> Viitattu: 27.04.2020.
- [17] Nobel P (2005) Physicochemical and environmental plant physiology. Burlington, Burlington academic press.
- [18] Renger G (2008) Primary processes of photosynthesis: principles and apparatus. Cambridge, RSC Pub.
- [19] Hammock H (2018) The impact of blue and red LED lighting on biomass accumulation, flavor volatile production, and nutrient uptake in hydroponically grown genovese basil. Opinnäytetyö. University of Tennessee.
- [20] Cree (2019) Thermal management of Cree XLamp LEDs. URL: <https://www.cree.com/led-components/media/documents/XLampThermalManagement.pdf>. Viitattu 27.04.2020.
- [21] Austerlitz Electronic (2018) KS 200 Kühlschienen extruded profiles. URL: [https://www.elfadistelec.fi/Web/Downloads/_b/ro/ks200_ger_bro.pdf?pid=\\${product.code}](https://www.elfadistelec.fi/Web/Downloads/_b/ro/ks200_ger_bro.pdf?pid=${product.code}). Viitattu 27.04.2020.
- [22] AUTODESK. Getting started with Fusion 360. URL: <http://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GUID-1C665B4D-7BF7-4FDF-98B0-AA7EE12B5AC2>. Viitattu 27.04.2020.
- [23] Arduino (2020) Arduino Uno Rev3. URL: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. Viitattu 27.04.2020.
- [24] Futureeden (2015) 3W High power led – warm white (2900-3200k). URL: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0920/1206/files/Future_Eden_Warm_White_3W_LED_2900-3200k_Data_Sheet_with_PCB_b8ec190f-1307-4a42-8994-e30ee8dc3284.pdf?2864751691303068301. Viitattu 27.04.2020
- [25] Futureeden. 800mA High power LED – deep Red (640-660nm). URL: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0920/1206/files/Future_Eden_Deep_Red_800mA_3W_660nm_Data_Sheet_with_PCB_34a9f3a5-b772-400a-bbde-1e6304914033.pdf?3403635927135015737. Viitattu 27.04.2020.
- [26] Futuureden (2015) 3W High power LED – royal blue. URL: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0920/1206/files/Future_Eden_Deep_Red_800mA_3W_660nm_Data_Sheet_with_PCB_34a9f3a5-b772-400a-bbde-1e6304914033.pdf?3403635927135015737. Viitattu 27.04.2020.

- [27] Futuureden (2020) Thermal conductive silicone glue. URL: <https://futureeden.co.uk/collections/thermal-glue/products/copy-of-high-conductivity-thermal-compound>. Viitattu 27.04.2020.
- [28] Futureeden (2016) 28W constant current LED driver. URL: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0920/1206/files/28W_Constant_Current_600mA_LED_Driver_30-50v_Data_Sheet.pdf?4527992537089271727. Viitattu 27.04.2020.
- [29] Mohamad M, Abdullah M Z & Abdullah M K (2013) Experimental study on the cooling performance of high power LED arrays under natural convection. International Conference on Mechanical Engineering Research. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 50 (2013) 012030. DOI: 10.1088/1757-899X/50/1/012030.